

Estratégia de corrida em média e longa distância: como ocorrem os ajustes de velocidade ao longo da prova?

CDD. 20.ed. 796.073
796.426

Everton Crivoi do CARMO*
Diego Lopes Mendes BARRETI*
Carlos UGRINOWITSCH*
Valmor TRICOLI*

*Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo.

Resumo

A estratégia de corrida tem sido apontada como um fator decisivo para o sucesso do atleta. Durante corridas de média e longa duração, a melhor estratégia será aquela capaz de poupar as "reservas fisiológicas", permitindo ao atleta terminar a prova no menor tempo possível. O controle da estratégia de corrida parece ser influenciado por fatores fisiológicos e psicológicos, que são ajustados constantemente durante a corrida, permitindo ao atleta determinar a intensidade do esforço. Diversas variáveis fisiológicas têm sido relacionadas aos ajustes da estratégia de corrida, no entanto, os resultados observados são controversos e foco de grandes discussões. Assim, a presente revisão tem como objetivo propiciar aos profissionais do esporte um melhor entendimento de questões como: 1) quais as melhores estratégias adotadas para determinado tipo de prova?; 2) como os ajustes da estratégia de corrida são realizados?; e 3) quais variáveis fisiológicas influenciam no controle da estratégia de corrida?

UNITERMOS: Desempenho; Percepção de esforço; Economia de corrida.

Introdução

Durante provas de resistência (i.e. longa duração) com características de circuito fechado, ou seja, com a distância a ser percorrida pré-definida, os competidores ajustam constantemente a velocidade com o objetivo de terminar a prova com o menor tempo possível (ABBISS & LAURSEN, 2008; JOSEPH, JOHNSON, BATTISTA, WRIGHT, DODGE, PORCARI, DE KONING & FOSTER, 2008; LIMA-SILVA, BERTUZZI, PIRES, BARROS, GAGLIARDI, HAMMOND, KISS & BISHOP, 2010). Coletivamente, esse ajuste da velocidade é denominado como "pacing strategy" ou estratégia de corrida (ABBISS & LAURSEN, 2008; FOSTER, DE KONING, HETTINGA, LAMPEN, DODGE, BOBBERT & PORCARI, 2004; LIMA-SILVA et al., 2010) e têm sido apontado como um fator decisivo para o sucesso de atletas envolvidos em provas de média e longa duração (ABBISS & LAURSEN, 2008; TUCKER, 2009).

Em corridas de média e longa distância, as estratégias utilizadas podem ser classificadas conforme a distribuição da velocidade ao longo da prova em estratégia constante, estratégia negativa ou decrescente, estratégia

positiva ou crescente e estratégias variáveis (ABBISS & LAURSEN, 2008). A melhor estratégia de corrida será aquela capaz de poupar as "reservas fisiológicas", permitindo que o atleta termine a corrida no menor tempo possível (NOAKES, 2007; NOAKES & ST CLAIR GIBSON, 2004; TUCKER & NOAKES, 2009; ULMER, 1996).

Para o melhor entendimento sobre os mecanismos de controle da estratégia de corrida, alguns modelos têm sido utilizados, entre eles, o modelo da "tele-antecipação". Nesse modelo, variáveis fisiológicas seriam monitoradas constantemente pelo sistema nervoso central (i.e. comando central) a fim de evitar possíveis distúrbios fisiológicos que pudessem prejudicar as funções celulares e o equilíbrio homeostático (NOAKES & ST CLAIR GIBSON, 2004; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005; ULMER, 1996). Sendo assim, a estratégia de corrida seria continuamente controlada ao longo da prova, em decorrência da aferência periférica advinda das alterações fisiológicas e metabólicas, para que o esforço seja realizado em uma intensidade "segura", impedindo a "catástrofe fisiológica", situação

na qual as atividades fisiológicas não poderiam ser mantidas adequadamente (LAMBERT, ST CLAIR GIBSON & NOAKES, 2005; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005; TUCKER, LAMBERT & NOAKES, 2006; TUCKER, MARLE, LAMBERT & NOAKES, 2006; TUCKER & NOAKES, 2009). Adicionalmente às informações aferentes, o modelo propõe que os ajustes sobre a intensidade do exercício podem sofrer interferência direta de mecanismos centrais, gerados por fatores como as experiências prévias do atleta, a motivação, o estado de humor e outras variáveis psicológicas. Sendo assim, o controle da estratégia de corrida parece ser influenciado por fatores fisiológicos e psicológicos, que seriam comparados momento a momento, permitindo ao atleta o ajuste constante na intensidade do esforço (AMANN, 2011; FOSTER et al., 2004; LAMBERT, ST CLAIR GIBSON & NOAKES, 2005; NOAKES, 2007; NOAKES & ST CLAIR GIBSON, 2004; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005; PIRES, LIMA-SILVA, BERTUZZI, CASARINI, KISS, LAMBERT & NOAKES, 2011).

Em relação aos fatores fisiológicos responsáveis pelo controle da estratégia de corrida, variáveis como o estresse cardiovascular, a frequência respiratória e a temperatura corporal têm sido sugeridos por interferir diretamente sobre a estratégia de corrida (AMANN, 2011; BILLAT, WESFREID, KAPFER, KORALSZTEIN & MEYER, 2006; DUGAS, 2010; LAMBERT, ST CLAIR GIBSON & NOAKES, 2005; NIELSEN, HYLDIG, BIDS-TRUP, GONZALEZ-ALONSO & CHRISTOFFERSEN, 2001; TUCKER, 2009; TUCKER et al., 2006). Os estoques de substratos energéticos intramuscular e alterações metabólicas também parecem ter importante participação nesse processo (COYLE, HAGBERG, HURLEY, MARTIN, EHSANI & HOLLOSZY, 1983; FOSTER, SCHRAGER, SNYDER & THOMPSON, 1994; NIELSEN et al., 2001; JONES, WILKERSON, DIMENNA, FULFORD &

POOLE, 2008). Para entender melhor os mecanismos de controle da estratégia de corrida, LIMA-SILVA et al. (2010) relacionaram algumas possíveis variáveis fisiológicas e variáveis de desempenho com os ajustes da estratégia de corrida durante uma prova de 10 km. Foi observado que o controle da estratégia de corrida está associado ao maior pico de velocidade na esteira (PV), ao menor acúmulo de lactato sanguíneo e a melhor economia de corrida (EC) ao longo dos 10 km. Sendo assim, atletas mais econômicos apresentam menor distúrbio metabólico e fisiológico que podem refletir sobre o comando central, alterando o controle da estratégia de corrida (FAULKNER, PARFITT & ESTON, 2008; HARGREAVES, 2008; NOAKES, 2007; PIRES et al., 2011; TUCKER, 2009).

Uma vez que a estratégia de corrida tem sido apontada como um fator determinante para o desempenho (ABBISS & LAURSEN, 2008; TUCKER & NOAKES, 2009), ela passou a chamar a atenção dos treinadores e cientistas do esporte, sendo tema de diversos estudos que buscaram responder algumas questões como: 1) qual a melhor estratégia a ser adotada para um determinado tipo de prova?; 2) como os ajustes da estratégia de corrida são realizados ao longo da prova?; e 3) quais variáveis fisiológicas participam no controle da estratégia de corrida? No entanto, as respostas a essas questões ainda são controversas e têm sido foco de grandes discussões (ABBISS & LAURSEN, 2008; FOSTER et al., 2004; JOSEPH et al., 2008; LIMA-SILVA et al., 2010; TUCKER, 2009).

Com isso, a presente revisão tem como objetivo propiciar aos profissionais do esporte um melhor entendimento sobre as estratégias utilizadas em corridas de média e longa duração e os mecanismos de controle envolvidos nesse processo, auxiliando no treinamento e desenvolvimento esportivo de seus atletas.

Qual a melhor estratégia adotada para um determinado tipo de prova?

A estratégia de corrida utilizada durante um evento competitivo tem sido apontada como um fator decisivo para o sucesso do atleta (ABBISS & LAURSEN, 2008; TUCKER & NOAKES, 2009). No entanto, a definição da melhor estratégia de corrida para determinado tipo de prova ainda é motivo de controvérsia.

Para entender essa questão, precisamos conhecer quais as principais estratégias observadas durante corridas de média e longa distância. Durante esses eventos, as estratégias de corrida utilizadas podem

ser classificadas em quatro diferentes tipos, conforme a distribuição da velocidade ao longo da prova: a) estratégia constante - o atleta mantém (ou altera pouco) a velocidade ao longo da prova; b) estratégia negativa ou decrescente - o atleta inicia a prova em alta velocidade e diminui ao longo da prova; c) estratégia positiva ou crescente - o atleta inicia a prova em velocidades baixa e aumenta gradualmente até o final; e d) estratégias variáveis - a distribuição da velocidade não segue um padrão bem definido e

é alterada ao longo da prova. Dentre as estratégias variáveis podemos observar os padrões em U, em J e em J-invertido (ABBISS & LAURSEN, 2008; DE KONING, FOSTER, BAKKUM, KLOPPENBURG, THIEL, JOSEPH, COHEN & PORCARI, 2011; FOSTER et al., 2004; TUCKER, LAMBERT & NOAKES, 2006). As

diferentes estratégias de corrida podem ser observadas na FIGURA 1. Independente da estratégia utilizada, o aumento da velocidade próximo ao final da prova, fenômeno conhecido como “end spurt” ou “sprint final”, tem sido observado (ABBISS & LAURSEN, 2008; JOSEPH et al., 2008; LIMA-SILVA et al., 2010).

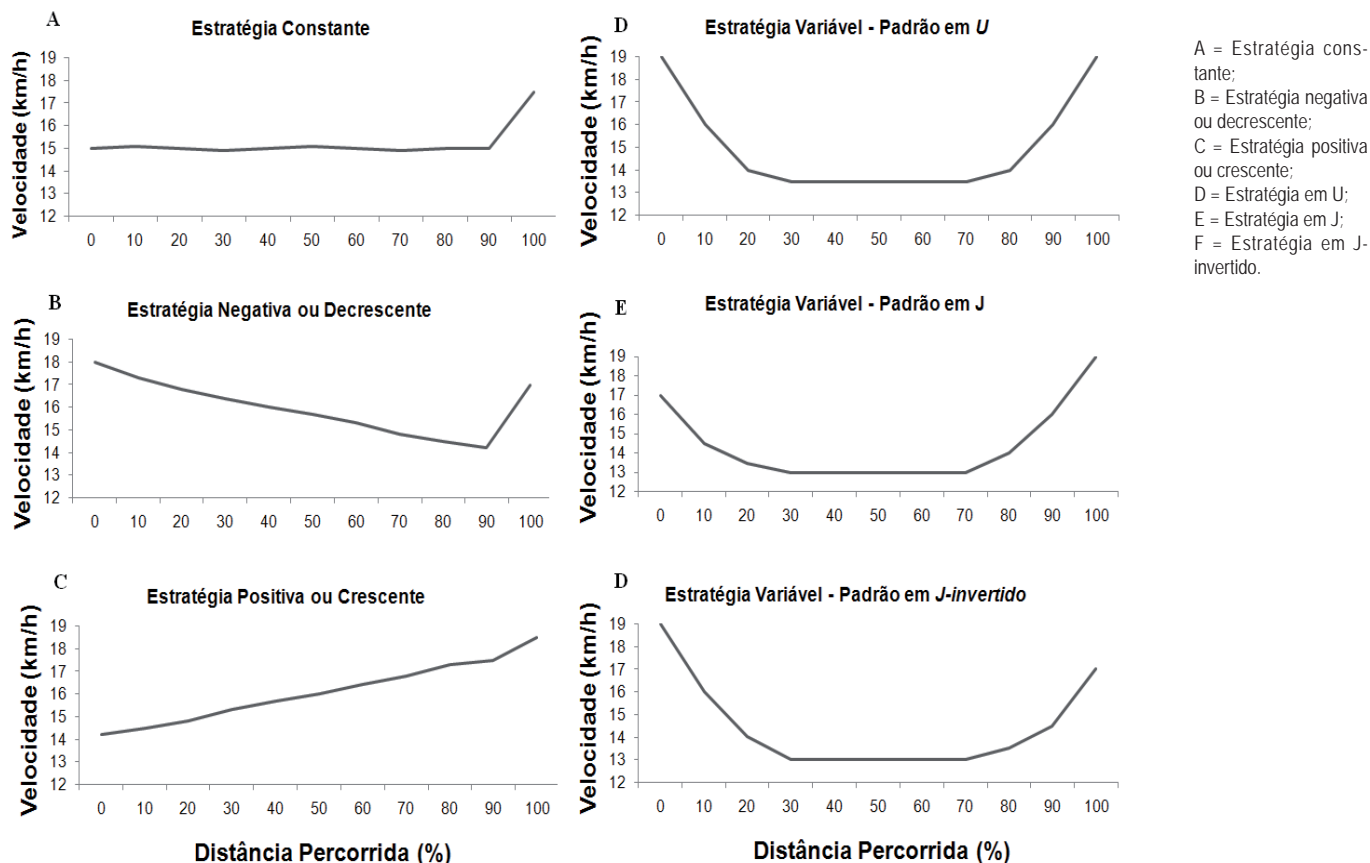


FIGURA 1 - Diferentes estratégias de corrida utilizadas durante provas de média e longa duração.

A escolha das diferentes estratégias descritas está relacionada com a duração e a intensidade da prova (ABBISS & LAURSEN, 2008; DE KONING et al., 2011; FOSTER et al., 2004; TUCKER, LAMBERT & NOAKES, 2006). Em provas de média e longa distâncias, devida a variação da velocidade, estratégias com padrões em U, J e em J-invertido parecem ser mais interessantes, uma vez que elas permitiriam ao atleta “poupar” energia durante um determinado trecho da prova. Nessas estratégias ocorre um início rápido, realizado em altas velocidades, seguido por uma redução gradual da velocidade, até aproximadamente 90% da distância estipulada. Já muito próximo do final da corrida, ocorre um novo aumento da velocidade, caracterizando o “end-spurt” ou “sprint final” (ABBISS & LAURSEN, 2008; JOSEPH et al., 2008).

Buscando entender as diferentes estratégias de corrida e verificar qual seria a melhor delas para

determinado tipo de prova, TUCKER et al. (2006) analisaram as estratégias utilizadas pelos recordistas mundiais em provas de 800 m, 5000 m e 10000 m, entre os anos de 1921 a 2004. Os autores observaram que estratégias variáveis, em padrão de U, foram utilizadas pela grande maioria dos recordistas mundiais em provas de 5000 m e 10000 m. Durante os 5000 m o primeiro e o último quilômetro foram mais rápidos que os demais. Comportamento similar foi observado nos 10000 m, em que após o início rápido, houve queda gradual da velocidade, chegando a valores significativamente menores após o terceiro quilômetro. A velocidade voltou a aumentar no quilômetro final, sendo o mais rápido da prova.

Posteriormente, estudos publicados por LIMA-SILVA et al. (2010) e LE MEUR, HAUSWIRTH, DOREL, BRISSWALTER e BERNARD (2009), vieram ao encontro

dos resultados obtidos por TUCKER et al. (2006), confirmando o benefício da adoção da estratégia em U em provas de médias e longas distâncias (LE MEUR et al., 2009; LIMA-SILVA et al., 2010). No estudo de LIMA-SILVA et al. (2010), foi comparada a estratégia de corrida utilizada durante uma prova de 10 km entre atletas de diferentes níveis, alto e baixo desempenho, classificados com base nos tempos dos 10 km. Foi observado que atletas de alto desempenho utilizavam a estratégia com o início rápido (velocidades iniciais 8% maiores do que a velocidade média da prova), enquanto atletas de baixo desempenho iniciavam a corrida com uma aceleração mais discreta. Já LE MEUR et al. (2009) analisaram a estratégia de corrida em triatletas durante a etapa do circuito mundial de triátlon em Pequim 2007. Foi observado que todos os 136 triatletas adotaram a estratégia em U durante a fase de corrida (10000 m), sendo a primeira das quatro voltas realizada com velocidade 10% maior do que as outras três.

Para entender melhor os efeitos da estratégia com início rápido sobre o desempenho, GOSZTYLA et al. (2006) manipularam a estratégia de corrida, induzindo os atletas a iniciar a prova com diferentes velocidades. Assim, os atletas correram os primeiros 1600 m em três diferentes velocidades: a) velocidade inicial no seu melhor tempo de prova; b) 3% mais rápido; ou c) 6% mais rápido que o melhor tempo de prova. Foi observada uma redução de 32 segundos no tempo dos 5000 m quando os atletas iniciaram a prova com velocidades 6% maiores, sugerindo que estratégias com início rápido poderiam melhorar o desempenho nessa distância. Os benefícios desse tipo de estratégia sobre o desempenho parecem estar relacionados ao menor tempo gasto na fase de aceleração, ou seja, os atletas percorrem os primeiros quilômetros da prova em menor tempo. Por outro lado, quando o início rápido não é realizado parece que não é possível compensar o tempo perdido no restante da prova (ATKINSON, PEACOCK & LAW, 2007; GOSZTYLA et al., 2006; LIMA-SILVA et al., 2010).

Adicionalmente ao menor tempo gasto no início de prova, a estratégia com início rápido pode também ter ação direta sobre alguns mecanismos fisiológicos, o que pode ser benéfico para o atleta ao longo da prova. Os benefícios fisiológicos desse tipo de estratégia parecem estar associados ao aumento na cinética do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) (BISHOP, BONETTI & DAWSON, 2002; FOSTER, DE KONING, HETTINGA, LAMPEN, LA CLAIR, DODGE, BOBBERT & PORCARI, 2003). Para que altas velocidades sejam desenvolvidas no início da corrida, um maior número de fibras musculares e uma maior proporção de fibras do tipo

II devem ser recrutadas. O maior número de fibras musculares recrutadas levará a maior utilização de ATP no início do exercício, sintetizado predominantemente pelo sistema ATP/CP, e consequentemente alterando a razão ATP/ADP. Tanto a maior utilização do sistema ATP/CP como as alterações na razão ATP/ADP seriam responsáveis pela aceleração do sistema oxidativo, reduzindo o tempo das fases I e II da cinética "on" do $\dot{V}O_2$, alterando assim, a cinética e o déficit de oxigênio durante a prova (BISHOP, BONETTI & DAWSON, 2002; HANON, LEVEQUE, THOMAS & VIVIER, 2008). Essas alterações permitiriam ao atleta atingir o "steady state" mais rápido, gerando um menor estresse metabólico (HANON et al., 2008; LIMA-SILVA et al., 2010). Entretanto, mais estudos são necessários para um melhor entendimento sobre os efeitos da estratégia de início rápido sobre os mecanismos fisiológicos e metabólicos.

Por outro lado, se as velocidades iniciais forem muito altas, elas podem induzir um grande desequilíbrio metabólico no início do exercício, o que prejudicaria o atleta durante o restante da prova, podendo induzir um quadro de fadiga prematura, impossibilitando a manutenção da velocidade e prejudicando o desempenho. Assim, esse tipo de estratégia deve ser realizado com cautela, e a descoberta da velocidade ideal para que a estratégia de início rápido seja aplicada se faz necessária (DE KONING et al., 2011; GOSZTYLA et al., 2006; TUCKER & NOAKES, 2009).

Nesse sentido, entramos em outro ponto fundamental, que tem sido desconsiderado pela grande maioria dos estudos, que é o respeito a individualidade biológica. Uma vez que a velocidade ideal para o início rápido deve ser determinada para que ocorra melhora do desempenho, podemos sugerir que essa velocidade não seja a mesma para todos e a generalização de um determinado percentual de aumento para que o início rápido seja realizado parece ser perigoso. Desta forma, não podemos estipular a melhor estratégia de corrida pela distância da prova, mas sim a melhor estratégia de corrida para cada indivíduo. A individualidade na escolha da estratégia de corrida pode ser observada no estudo de TUCKER et al. (2006), os quais verificaram que dos 34 recordistas mundiais dos 10000 m, 33 utilizaram estratégias variáveis e somente um (Paul Tergat em 1977) utilizou a estratégia constante. Adicionalmente, dos outros 33 corredores que utilizaram a estratégia variável, o percentual da velocidade inicial, em relação à velocidade média, não foi o mesmo para todos. Sendo assim, se a estratégia com início rápido fosse utilizada por Paul Tergat, ou ainda, se o mesmo percentual de início rápido fosse

utilizado por todos os outros 33 atletas, muitos deles poderiam não ter quebrado o recorde mundial.

De fato, a individualidade na estratégia de corrida tem sido observada em estudo do nosso grupo (dados não publicados) em que foi analisada os efeitos da estratégia com início rápido sobre o desempenho em corrida de 10 km. Para o início rápido os atletas correram o primeiro quilômetro em velocidades 6% maiores do que a média de velocidade para esta distância. Observamos que, dos 15 corredores analisados, sete corredores melhoraram o desempenho em 2,4%, sugerindo que esse tipo de estratégia parece ser a melhor para o desempenho em provas de 10 km. Por outro lado, oito corredores pioraram o desempenho em 3,2%, mostrando que para esses, esse tipo de estratégia (ou a velocidade inicial aplicada), não é a

melhor escolha. Esses resultados mostram claramente diferentes respostas individuais dos corredores frente a mesma estratégia de corrida. Sendo assim, a generalização das velocidades iniciais em estratégias com início rápido deve ser feita com cautela.

Com isso, a pergunta, “Quais as melhores estratégias adotadas para um determinado tipo de prova?”, parece não estar correta, mas sim a pergunta “Qual a melhor estratégia adotada para cada indivíduo?” parece ser mais adequada.

Entretanto, para respondermos essa pergunta, se faz necessário o melhor entendimento dos mecanismos responsáveis pelos ajustes da velocidade ao longo da corrida e o seu papel na prevenção de grandes distúrbios fisiológicos (DE KONING et al., 2011; TUCKER & NOAKES, 2009).

Como os ajustes da estratégia de corrida são realizados ao longo da prova?

No modelo clássico de fadiga, a intensidade do esforço durante o exercício máximo é reduzida quando um quadro de fadiga, principalmente a fadiga periférica, é instalado (AMANN, 2011). Nesse modelo, a intensidade da corrida seria reduzida e o exercício interrompido quando uma grande quantidade de fibras musculares já tivesse sido recrutada e o sistema não fosse capaz de recrutar mais unidades motoras para a manutenção da intensidade do esforço. Ou ainda, a redução da intensidade ocorreria quando os sistemas energéticos não fossem mais capazes de produzir ATP em quantidades suficientes para a manutenção do exercício, uma vez que o glicogênio muscular estaria substancialmente depletado (ALLEN, LAMB & WESTERBLAD, 2008; FITTS, 1994; WESTERBLAD & ALLEN, 2003).

No entanto, o modelo clássico parece não ser aplicado em provas de resistência de média e longa duração, onde a fadiga periférica não tem sido observada (AMANN, 2011; NOAKES, 2007; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005; PAAVOLAINEN, NUMMELA, RUSKO & HAKKINEN, 1999). Estudos têm demonstrado que a fadiga neuromuscular e a capacidade de produção de força não são afetadas a ponto de comprometer o desempenho após a realização de corridas de média e longa duração. Nesse tipo de evento, ocorre um revezamento no recrutamento das unidades motoras, permitindo a realização do exercício por mais tempo. Sendo assim, tem sido sugerido que a redução do “drive-motor”, ou seja, a redução no recrutamento das unidades motoras,

não ocorra pela fadiga periférica e/ou incapacidade do sistema neuromuscular, mas sim por outros mecanismos (AMANN, 2011; NOAKES, 2007; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005; PAAVOLAINEN et al., 1999). Em relação à incapacidade dos sistemas energéticos em sintetizar ATP, foi demonstrado que após o término de uma corrida, mesmo que realizada em altas intensidades, as concentrações de ATP/CP ainda permanecem num nível de 50% da concentração de repouso. Comportamento semelhante foi demonstrado em relação aos estoques de glicogênio muscular, sendo observado que após o término do exercício seus estoques não estão totalmente depletados, sendo suficientes para manter a síntese de ATP (FOSTER et al., 2003; JONES et al., 2008; LAMBERT, ST CLAIR GIBSON & NOAKES, 2005; NOAKES & ST CLAIR GIBSON, 2004; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005; TUCKER & NOAKES, 2009).

Assim, pesquisadores têm tentado entender melhor quais os mecanismos responsáveis pelos ajustes da intensidade do exercício durante eventos de resistência com média e longa duração. Para isso, alguns modelos têm sido utilizados, entre eles, o modelo da “tele-antecipação”, proposto por Ulmer em 1996 (ULMER, 1996). Nesse modelo o término do exercício é determinado não somente por mecanismos periféricos, mas também por mecanismo centrais. Dessa forma, informações aferentes, vindas de diversas regiões da periferia (músculos, sistema cardiovascular, sistema respiratório, temperatura corporal, entre outras), são enviadas ao sistema

nervoso central (SNC), que por sua vez, identifica essas informações, controlando a intensidade do exercício. A intensidade do esforço é ajustada para manter os chamados “níveis fisiológicos adequados”, ou seja, que permitem manter o funcionamento adequado do organismo, uma espécie de “reserva fisiológica”. Quando ocorrem alterações que possam ultrapassar esses níveis, e induzir a “catástrofe fisiológica”, o SNC antecipa essa situação, como um mecanismo de defesa homeostático, diminuindo o “drive-motor”, e consequentemente a intensidade do exercício, antes que níveis críticos sejam atingidos.

Posteriormente, NOAKES, ST CLAIR GIBSON e LAMBERT (2005) completaram esse modelo e o adaptaram para provas de resistência, permitindo um melhor entendimento dos ajustes da estratégia de corrida. Esse modelo foi denominado como “modelo do controle central” ou “modelo do governador central” (NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005). Semelhante ao modelo da tele-antecipação, esse modelo propõe que variáveis fisiológicas são monitoradas constantemente pelo comando central a fim de evitar possíveis distúrbios fisiológicos que possam prejudicar as funções celulares e o equilíbrio homeostático (NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005). Sendo assim, os ajustes de velocidade durante uma prova são continuamente controlados, em decorrência de alterações fisiológicas e metabólicas, para que o esforço seja realizado em uma intensidade “segura”, impedindo a “catástrofe fisiológica” (NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005).

Entretanto, adicionalmente as informações aferentes (“feedback”), o modelo do governador central propõe ainda que os ajustes sobre a intensidade do exercício podem sofrer interferência direta de mecanismos centrais (“feedforward”), gerados por fatores como as experiências prévias do atleta, a motivação, o estado de humor e outras variáveis psicológicas. Portanto, nesse modelo, o ajuste da estratégia de corrida parece ser influenciado por fatores fisiológicos e psicológicos, que seriam comparados momento a momento durante a prova, permitindo ao atleta o ajuste subconsciente na intensidade do esforço (JOSEPH et al., 2008; NOAKES, 2007; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005). Apesar de ainda muito questionada, essa teoria tem sido bem aplicada no estudo da estratégia de corrida.

Como citado anteriormente, todos esses ajustes da velocidade, decorrentes dos mecanismos de “feedback” e “feedforward”, são realizados subconscientemente. Entretanto eles podem ser percebidos pelos atletas e expressos de maneira consciente por meio da

percepção subjetiva de esforço (PSE) (JOSEPH et al., 2008; NOAKES, 2007; NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005). Apesar de ser uma ferramenta relativamente simples, a escala de PSE, tem grande aplicabilidade no estudo da estratégia de corrida, sendo sugerida por refletir as respostas integradas de diferentes sistemas, combinando as alterações centrais e periféricas (NOAKES, 2004).

Nesse sentido, a PSE gerada durante o exercício, chamada de PSE momentânea, irá refletir o estado atual do atleta em relação a um conjunto de informações aferentes (coração, pulmão e músculo esquelético), associada a um conjunto de informações centrais, como motivação, estado de humor e experiências prévias (DE KONING et al., 2011; PIRES et al., 2011; TUCKER, 2009). Com isso, os atletas ajustariam a estratégia de corrida durante a prova conforme o esforço percebido, ou seja, caso o esforço percebido esteja muito alto o atleta irá reduzir a intensidade do exercício. Por outro lado, se o esforço percebido estiver muito baixo, o atleta irá aumentar a intensidade do exercício. No entanto, como o atleta seria capaz de identificar um esforço percebido como alto ou baixo?

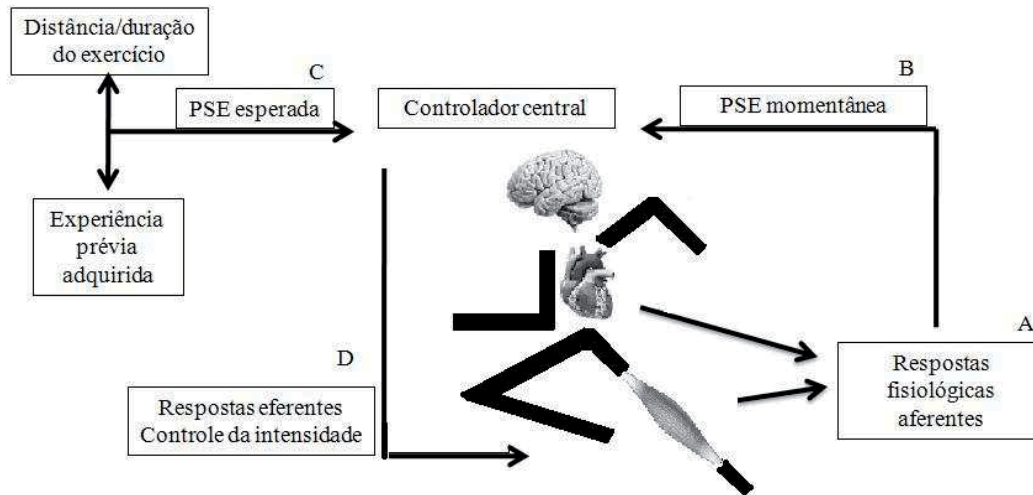
Para responder esse pergunta, TUCKER (2009) sugeriu que os ajustes de velocidade não são dependentes apenas da PSE momentânea, mas são também influenciados por uma “PSE esperada” para determinado momento da prova. A “PSE esperada” seria determinada antes do início da prova, sendo gerada pelo estado atual do atleta, pelas suas experiências prévias e pela duração restante de prova. Assim, durante a corrida o atleta compara constantemente a PSE momentânea com a PSE esperada para aquele momento, ajustando a intensidade do exercício, permitindo que ele percorra a distância determinada no melhor tempo possível sem entrar em um estado de fadiga prematura. Uma representação esquemática desse modelo pode ser observada na FIGURA 2.

Adicionalmente, DE KONING et al. (2011) propuseram uma escala denominada como “escala de perigo”. Essa escala representa o risco do atleta entrar em fadiga prematura antes do término da distância determinada, prejudicando o seu desempenho (DE KONING et al., 2011). Para a construção dessa escala os autores utilizaram o produto da PSE momentânea e da distância restante de prova. Assim, quanto menor a distância restante para o término da prova, menor o risco de fadiga prematura e uma maior PSE poderia ser suportada.

A aplicação dos modelos da tele-antecipação, do governador central e do risco de fadiga pode ser bem observada durante provas de 10 km, onde estratégias

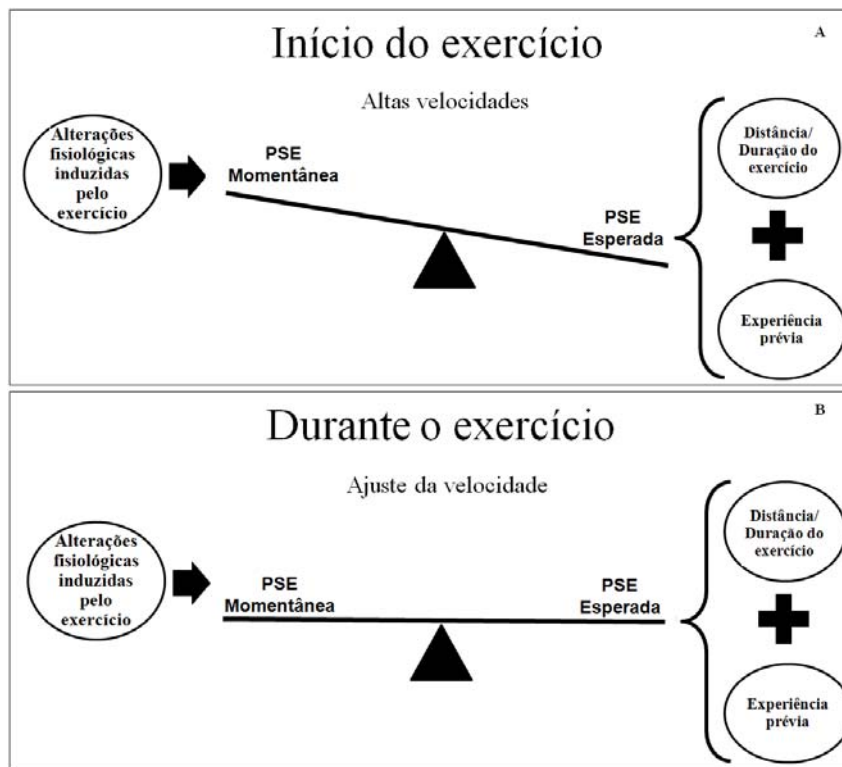
variáveis com início rápido tem sido utilizadas. As altas velocidades no início da prova podem ser decorrentes da baixa PSE momentânea, proporcionada pelo baixo estresse fisiológico e por uma sensação confortável, o que consequentemente gera um baixo risco de fadiga prematura. Entretanto, ao longo da prova as alterações fisiológicas, decorrentes do esforço realizado, aumentam a PSE momentânea que, associada à grande distância ainda restante para o final da prova, aumentam o risco de fadiga prematura, diminuindo a intensidade do esforço, o que poderia explicar a menor velocidade após o segundo quilometro de corrida. Ao longo da corrida o

atleta continuamente “equilibra” a sua PSE momentânea com a PSE esperada para aquele momento, realizando poucas alterações sobre a velocidade, que permanece próxima a velocidade média. Esse comportamento é observado até que aproximadamente 90% da prova seja percorrido. A partir desse ponto, o risco de fadiga prematura diminui consideravelmente e apesar de uma alta PSE momentânea, o atleta se sente confiante para aumentar novamente a velocidade, fenômeno chamado de “end-spurt” (DE KONING et al., 2011). A FIGURA 3 representa esquematicamente o “equilíbrio” entre a PSE momentânea e a PSE esperada ao longo da prova.



A e B = Respostas fisiológicas aferentes geradas por alterações fisiológicas decorridas do exercício modulam a PSE momentânea;
C = O conhecimento sobre a distância ou duração do exercício associadas às experiências adquiridas previamente vão modular a PSE esperada para determinado momento;
D = A comparação constante entre a PSE momentânea e a PSE esperada geram respostas eferentes centrais controlando a intensidade do esforço para evitar a fadiga prematura).

FIGURA 2 - Representação esquemática do modelo antecipatório de ajuste da intensidade durante o esforço.



A = Ajuste da intensidade no início da prova - as altas velocidades iniciais levam a alterações fisiológicas que induzem o aumento na PSE momentânea, que é comparada constantemente com a PSE esperada, reduzindo a velocidade para que haja um equilíbrio entre elas;
B = Ajuste da velocidade - A velocidade é ajustada para que a PSE momentânea e a PSE esperada sejam equilibradas durante a prova.

FIGURA 3 - Representação esquemática do equilíbrio entre a PSE momentânea e a PSE esperada ao longo da prova.

Como podemos observar, os ajustes da estratégia e corrida parecem ocorrer de forma subconsciente, sendo influenciados por informações fisiológicas (“feedback”) e psicológicas (“feedforward”) momento a momento durante a prova. Essas informações subconscientes podem ser expressas conscientemente pela PSE, uma importante ferramenta para um melhor entendimento sobre o controle da estratégia

de corrida. Uma vez que as informações fisiológicas aferentes parecem ser extremamente importantes no controle da estratégia de corrida, o melhor entendimento sobre os mecanismos fisiológicos que participam nesse processo se faz necessário, sendo que alterações sobre eles, ou estratégias que possam melhorar as suas respostas, podem influenciar diretamente sobre o controle da estratégia de corrida.

Quais variáveis fisiológicas participam no controle da estratégia de corridas?

Diversas variáveis fisiológicas têm sido apontadas como responsáveis pelo controle da estratégia de corrida: o estresse cardiovascular, a variabilidade da frequência cardíaca e a frequência respiratória podem interferir diretamente sobre a estratégia de corrida (BILLAT et al., 2006; LAMBERT, ST CLAIR GIBSON & NOAKES, 2005; NIELSEN et al., 2001; ST CLAIR GIBSON, BADEN, LAMBERT, LAMBERT, HARLEY, HAMPSON, RUSSELL & NOAKES, 2003). As alterações dessas variáveis fisiológicas gerariam no atleta maior sensação de desconforto, o que aumentaria a PSE momentânea, fazendo com que a velocidade do exercício seja reduzida (DE KONING et al., 2011; TUCKER, 2009).

Os estoques de substrato intramuscular e alterações metabólicas também têm sido sugeridos como importantes participantes no controle. A menor disponibilidade de carboidrato parece ser um dos principais fatores envolvidos (COYLE, COGGAN, HEMMERT & IVY, 1986; COYLE et al., 1983; FOSTER et al., 1994; JONES et al., 2008; NIELSEN et al., 2001). De fato, a ingestão de carboidrato, antes ou durante o exercício, parece melhorar o desempenho (CARTER, JEUKENDRUP & JONES, 2004). No entanto, a melhora observada sobre o desempenho pode estar relacionada a outros fatores não metabólicos, uma vez que a infusão de glicose não alterou a oxidação de carboidratos em uma prova contra-relógio de 40 km de ciclismo (CARTER, JEUKENDRUP & JONES, 2004). Nesse sentido, foi sugerido que a administração oral de carboidrato pode alterar a estratégia de corrida, e afetar positivamente o desempenho, devido a sua ação sobre receptores específicos localizados na cavidade bucal, o que estimularia diretamente o comando central, alterando o controle motor e a motivação (CARTER, JEUKENDRUP & JONES, 2004). Essas alterações podem ter influência direta sobre a PSE e o controle da estratégia de corrida (BACKHOUSE, ALI, BIDDLE & WILLIAMS, 2007; BACKHOUSE, BISHOP, BIDDLE &

WILLIAMS, 2005; CARTER, JEUKENDRUP & JONES, 2004; MCCONELL, CANNY, DADDO, NANCE & SNOW, 2000).

BARON, DERUELLE, MOULLAN, DALLEAU, VERKINDT e NOAKES (2009) mostraram que além das alterações fisiológicas ou metabólicas, os mecanorreceptores osteomusculares também podem ter importante papel no controle da estratégia de corrida (BARON et al., 2009). Utilizando corrida em descida BARON et al. (2009) observaram que a velocidade pode ser ajustada para regular a tensão muscular proporcionada pela ação excêntrica da corrida, evitando possíveis danos ou perturbações músculo-esquelético graves. Os dados do estudo supracitado sugerem que o aumento do estresse osteomuscular pode gerar uma maior sensação de desconforto, aumentando a PSE momentânea e consequentemente, reduzindo a intensidade do esforço.

Dessa forma, acredita-se que diversos mecanismos estão envolvidos na estratégia de corrida, podendo alterá-la a todo momento. Contudo, esses mecanismos parecem ser dependentes da duração do evento realizado. Em eventos de curta duração os estoques de substratos intramusculares e as alterações metabólicas influenciam diretamente a estratégia de corrida (FOSTER et al., 1994; JONES et al., 2008). Por outro lado, em provas de média e longa duração as alterações na estratégia parecem estar relacionadas ao aumento da temperatura corporal (NIELSEN et al., 2001) e a disponibilidade de carboidratos (COYLE et al., 1983). No entanto, os reais mecanismos ainda são controversos e poucos estudos têm sido realizados para entender melhor esse processo.

Em um desses estudos, LIMA-SILVA et al. (2010) determinaram algumas possíveis variáveis fisiológicas e variáveis de desempenho associadas aos ajustes da estratégia de corrida durante uma prova de 10 km (LIMA-SILVA et al., 2010). Nesse estudo, os corredores foram divididos em dois grupos determinados

como alto e baixo nível, conforme o seus tempos em provas de 10 km. Foi observado que apenas os corredores de alto nível utilizaram a estratégia de corrida com início rápido. As diferenças na estratégia de corrida foram associadas ao maior pico de velocidade na esteira (PV), ao menor acúmulo de lactato sanguíneo e a melhor economia de corrida (EC). Adicionalmente, os corredores de alto nível realizaram a prova em intensidades acima do ponto de início de acúmulo de lactato sanguíneo (OBLA).

O estudo de LIMA-SILVA et al. (2010) corrobora com o estudo realizado anteriormente por BILLAT, LEPRETRE, HEUGAS, LAURENCE, SALIM e KORALSZTEIN (2003) com corredores quenianos (BILLAT et al., 2003). Os quenianos, mesmo com menor $\dot{V}O_2$ máximo, quando comparados aos caucasianos, apresentaram melhor desempenho durante uma prova de 10 km. Esses resultados foram associados à maior capacidade em suportar a acidose metabólica e a um atraso no acúmulo de lactato sanguíneo nos quenianos. O menor acúmulo de lactato durante a prova parece ser um importante fator na determinação do desempenho, uma vez que distúrbios no pH, induzidos pela maior acidose metabólica podem interferir sobre o processo contrátil, prejudicando a ativação das unidades motoras e consequentemente, a técnica de corrida. (FOSTER, GREEN, SNYDER & THOMPSON, 1993).

A influência de variáveis como a acidose metabólica, o PV e a EC sobre a estratégia de corrida podem estar relacionadas a um modelo denominado “muscle power” (NOAKES, 1988) Esse modelo reflete a habilidade do sistema neuromuscular em produzir potência durante o exercício, ou seja, manter altas velocidades durante a corrida, mesmo quando a contratilidade muscular esteja prejudicada (PAAVOLAINEN et al., 1999). Assim, corredores com melhor EC podem ser capazes de manter maiores intensidades de esforço por longos períodos de tempo e atingir maior PV, o que pode estar relacionado ao menor estresse metabólico, refletindo diretamente sobre os ajustes na estratégia de corrida. De fato, a melhor EC tem sido diretamente relacionada a um atraso no acúmulo de lactato sanguíneo (BILLAT et al., 2003).

Considerações finais

A estratégia de corrida tem sido apontada como uma das variáveis determinantes do desempenho de corredores de média e longa distância e por esse motivo tem sido tema de grande interesse entre

A EC é definida como a energia gasta, expressa em $\dot{V}O_2$ submáximo, para determina velocidade de corrida (FOSTER & LUCIA, 2007). Sendo assim, corredores com boa EC utilizam menor porcentagem de seu $\dot{V}O_{2max}$ para uma mesma velocidade de corrida, ou seja, são mais eficientes (FOSTER & LUCIA, 2007). A EC tem sido diretamente relacionada a um mecanismo denominado como ciclo alongamento-encurtamento (CAE). Esse mecanismo representa a capacidade dos músculos e tendões em armazenar a energia elástica gerada durante a fase de contato com o solo, e utilizá-la posteriormente durante a fase de impulsão (ARAMPATZIS, DE MONTE, KARAMANIDIS, MOREY-KLAPSING, STAFILIDIS & BRUGGEMANN, 2006). Com isso, a melhor utilização do CAE resultará em menor demanda metabólica durante o exercício, além do aumento da força e potência muscular, permitindo ao atleta correr em maiores velocidade com menor utilização de energia metabólica, ou seja, tornando-os mais econômicos (ARAMPATZIS et al., 2006; MALISOUX, FRANCAUX, NIELENS & THEISEN, 2006; NICOL, AVELA & KOMI, 2006; WALSHE, WILSON & ETTEMA, 1998). Sendo assim, atletas mais econômicos apresentam menor distúrbio metabólico e fisiológico, que irão refletir sobre a PSE momentânea, alterando o controle da estratégia de corrida (HARGREAVES, 2008; NOAKES, 2007; PIRES et al., 2011; TUCKER & NOAKES, 2009).

Portanto, as alterações fisiológicas induzidas pelo exercício vão influenciar diretamente a percepção de esforço do atleta, que irá ajustar a estratégia de corrida, buscando minimizar a sensação de desconforto, para que não ocorra a fadiga precoce e ele possa terminar a prova o mais rápido possível. Deve ser destacado que atribuir as alterações observadas na estratégia de corrida a uma determinada variável fisiológica não parece ser a melhor opção e pode gerar falsas interpretações. Devemos compreender quais as possíveis alterações fisiológicas e metabólicas estão envolvidas no controle da estratégia de corrida, mas não generalizar os dados, uma vez que essas variáveis podem responder de maneira diferente entre indivíduos e até mesmo, no mesmo indivíduo quando submetido a diferentes condições, como corrida em altas e baixas temperaturas.

cientistas do esporte. Na presente revisão buscamos elucidar algumas questões ainda controversas na literatura, esperando auxiliar profissionais do esporte no treinamento de seus atletas.

O modelo do governador central e a participação do SNC como um modulador da intensidade do exercício parecem ser bem aplicados quando o foco principal é a análise da estratégia de corrida. No entanto, quando os mecanismos propostos para esse controle, principalmente os mecanismos fisiológicos são discutidos, os dados ainda são controversos e conclusões a respeito devem ser tomadas com cautela. Não podemos atribuir às alterações na estratégia de corrida a apenas um sistema, mas sim a um conjunto de sistemas que atuam concomitantemente nesse controle. Mais estudos são necessários para que esses mecanismos possam ser bem compreendidos.

Em relação a qual estratégia de corrida deve ser utilizada em provas de média e longa distância, acreditamos que a generalização dos resultados pode ser perigosa. Uma vez que a estratégia de corrida depende de variáveis fisiológicas e psicológicas, e que o comportamento da PSE frente ao mesmo estresse é diferente entre os indivíduos, podemos supor que os ajustes da estratégia de corrida durante uma prova serão diferentes. De fato, os estudos do nosso grupo têm mostrado que os atletas podem apresentar diferentes respostas quando a mesma estratégia de corrida foi aplicada. Com isso, sugere-se que a estratégia de corrida não pode ser estipulada pelo tipo de prova, mas deve ser estipulada conforme as características de cada indivíduo.

Abstract

Pacing strategy in middle and long distance running: how are velocities adjusted during the race?

The pacing strategy has been shown as an important factor for athletes' performance. During middle and long distance races, the best pacing strategy will be able to maintain a "physiological reserve" and to allow the athlete to run in his/her best time. It should be mentioned that the pacing strategy can be altered by physiological and psychological factors. These factors are frequently adjusted throughout the race and they will be used to control runner's pace. Several physiological variables have been suggested to have an important role in pacing strategy control. However, there is still controversial findings among the studies. Thus, the aim of this review was provide a better understanding about some questions such as: 1) what is the best pacing strategy for a specific race?; 2) how pacing strategy is controlled by the runner?; and 3) how physiological variables can induce changes on pacing strategy?

UNITERMS: Performance; Perceived exertion; Running economy.

Resumen

La estrategia de la carrera del media y larga distancia: como se producen los ajustes de velocidad a lo largo de la carrera?

La estrategia de la carrera ha sido identificada como un factor decisivo para el éxito del atleta. Durante las carreras de medio y largo plazo, la mejor estrategia es aquella que puede salvar a la "reserva fisiológica" que permite al atleta terminar la carrera en el menor tiempo posible. El control de la estrategia de carrera parece estar influenciada por algunos factores fisiológicos y psicológicos, que se ajustan con frecuencia durante la carrera, lo que permite al atleta determinar la intensidad del esfuerzo. Muchas de las variables fisiológicas se han relacionadas con los ajustes de la estrategia de carrera, sin embargo, los resultados observados son controvertidos y foco de muchos debates. Por lo tanto, esta revisión tiene como objetivo proporcionar a los profesionales del deporte una mejor comprensión de temas tales como: 1) cuáles son las mejores estrategias adoptadas para un tipo particular de prueba?; 2) cómo los ajustes de estrategia de prueba se hacen?; y 3) las variables fisiológicas que influyen en el control de la estrategia de carrera?

PALABRAS CLAVE: Actuación; La percepción del esfuerzo; Economía de carrera.

Referências

- ABBISS, C.R.; LAURSEN, P.B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sports Medicine**, Auckland, v.38, n.3, p.239-52, 2008.
- ALLEN, D.G.; LAMB, G.D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiological Reviews**, Washington, v.88, n.1, p.287-332, 2008.
- AMANN, M. Central and peripheral fatigue: interaction during cycling exercise in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.43, n.11, p.2039-45, 2011.
- ARAMPATZIS, A.; DE MONTE, G.; KARAMANIDIS, K.; MOREY-KLAPSING, G.; STAFILIDIS, S.; BRUGGE-MANN, G.P. Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. **The Journal of Experimental Biology**, London, v.209, n.Pt 17, p.3345-57, 2006.
- ATKINSON, G.; PEACOCK, O.; LAW, M. Acceptability of power variation during a simulated hilly time trial. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.28, n.2, p.157-63, 2007.
- BACKHOUSE, S.H.; ALI, A.; BIDDLE, S.J.; WILLIAMS, C. Carbohydrate ingestion during prolonged high-intensity intermittent exercise: impact on affect and perceived exertion. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, Copenhagen, v.17, n.5, p.605-10, 2007.
- BACKHOUSE, S.H.; BISHOP, N.C.; BIDDLE, S.J.; WILLIAMS, C. Effect of carbohydrate and prolonged exercise on affect and perceived exertion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.37, n.10, p.1768-73, 2005.
- BARON, B.; DERUELLE, F.; MOULLAN, F.; DALLEAU, G.; VERKINDT, C.; NOAKES, T.D. The eccentric muscle loading influences the pacing strategies during repeated downhill sprint intervals. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.105, n.5, p.749-57, 2009.
- BILLAT, V.; LEPRETRE, P.M.; HEUGAS, A.M.; LAURENCE, M.H.; SALIM, D.; KORALSZTEIN, J.P. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.35, n.2, p.297-304; discussion 305-6, 2003.
- BILLAT, V.L.; WESFREID, E.; KAPFER, C.; KORALSZTEIN, J.P.; MEYER, Y. Nonlinear dynamics of heart rate and oxygen uptake in exhaustive 10,000 m runs: influence of constant vs. freely paced. **The Journal of Physiological Sciences**, Tokyo, v.56, n.1, p.103-11, 2006.
- BISHOP, D.; BONETTI, D.; DAWSON, B. The influence of pacing strategy on VO_2 and supramaximal kayak performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.34, n.6, p.1041-7, 2002.
- CARTER, J.M.; JEUKENDRUP, A.E.; JONES, D.A. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.36, n.12, p.2107-11, 2004.
- COYLE, E.F.; COGGAN, A.R.; HEMMERT, M.K.; IVY, J.L. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.61, n.1, p.165-72, 1986.
- COYLE, E.F.; HAGBERG, J.M.; HURLEY, B.F.; MARTIN, W.H.; EHSANI, A.A.; HOLLOSZY, J.O. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.55, n.1 Pt 1, p.230-5, 1983.
- DE KONING, J.J.; FOSTER, C.; BAKKUM, A.; KLOPPENBURG, S.; THIEL, C.; JOSEPH, T.; COHEN, J.; PORCARI, J.P. Regulation of pacing strategy during athletic competition. **PLoS One**, San Francisco, v.6, n.1, p.e15863, 2011.
- DUGAS, J.P. How hot is too hot? Some considerations regarding temperature and performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Champaign, v.5, n.4, p.559-64, 2010.
- FAULKNER, J.; PARFITT, G.; ESTON, R. The rating of perceived exertion during competitive running scales with time. **Psychophysiology**, Baltimore, v.45, n.6, p.977-85, 2008.
- FITTS, R.H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiological Reviews**, Washington, v.74, n.1, p.49-94, 1994.
- FOSTER, C.; DE KONING, J.J.; HETTINGA, F.; LAMPEN, J.; DODGE, C.; BOBBERT, M.; PORCARI, J.P. Effect of competitive distance on energy expenditure during simulated competition. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.25, n.3, p.198-204, 2004.
- FOSTER, C.; DE KONING, J.J.; HETTINGA, F.; LAMPEN, J.; LA CLAIR, K.L.; DODGE, C.; BOBBERT, M.; PORCARI, J.P. Pattern of energy expenditure during simulated competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.35, n.5, p.826-31, 2003.
- FOSTER, C.; GREEN, M.A.; SNYDER, A.C.; THOMPSON, N.N. Physiological responses during simulated competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.25, n.7, p.877-82, 1993.
- FOSTER, C.; LUCIA, A. Running economy : the forgotten factor in elite performance. **Sports Medicine**, Auckland, v.37, n.4-5, p.316-9, 2007.

- FOSTER, C.; SCHRAGER, M.; SNYDER, A.C.; THOMPSON, N.N. Pacing strategy and athletic performance. **Sports Medicine**, Auckland, v.17, n.2, p.77-85, 1994.
- GOSZTYLA, A.E.; EDWARDS, D.G.; QUINN, T.J.; KENEFICK, R.W. The impact of different pacing strategies on five-kilometer running time trial performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Champaign, v.20, n.4, p.882-6, 2006.
- HANON, C.; LEVEQUE, J.M.; THOMAS, C.; VIVIER, L. Pacing strategy and VO₂ kinetics during a 1500-m race. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.29, n.3, p.206-11, 2008.
- HARGREAVES, M. Fatigue mechanisms determining exercise performance: integrative physiology is systems biology. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.104, n.5, p.1541-2, 2008.
- JONES, A.M.; WILKERSON, D.P.; DIMENNA, F.; FULFORD, J.; POOLE, D.C. Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using 31P-MRS. **American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, Bethesda, v.294, n.2, p.R585-93, 2008.
- JOSEPH, T.; JOHNSON, B.; BATTISTA, R.A.; WRIGHT, G.; DODGE, C.; PORCARI, J.P.; DE KONING, J.J.; FOSTER, C. Perception of fatigue during simulated competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.40, n.2, p.381-6, 2008.
- LAMBERT, E.V.; ST CLAIR GIBSON, A.; NOAKES, T.D. Complex systems model of fatigue: integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.39, n.1, p.52-62, 2005.
- LE MEUR, Y.; HAUSSWIRTH, C.; DOREL, S.; BIGNET, F.; BRISSWALTER, J.; BERNARD, T. Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.106, p.535-545, 2009.
- LIMA-SILVA, A.E.; BERTUZZI, R.C.; PIRES, F.O.; BARROS, R.V.; GAGLIARDI, J.F.; HAMMOND, J.; KISS, M.A.; BISHOP, D.J. Effect of performance level on pacing strategy during a 10-km running race. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v.108, n.5, p.1045-53, 2010.
- MALISOUX, L.; FRANCAUX, M.; NIELENS, H.; THEISEN, D. Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.100, n.3, p.771-9, 2006.
- McCONNELL, G.K.; CANNY, B.J.; DADDIO, M.C.; NANCE, M.J.; SNOW, R.J. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics and muscle metabolism during intense endurance exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.89, n.5, p.1690-8, 2000.
- NICOL, C.; AVELA, J.; KOMI, P.V. The stretch-shortening cycle : a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. **Sports Medicine**, Auckland, v.36, n.11, p.977-99, 2006.
- NIELSEN, B.; HYLDIG, T.; BIDSTRUP, E.; GONZALEZ-ALONSO, J.; CHRISTOFFERSEN, G.R. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. **Pflugers Archiv: European Journal of Physiology**, Berlin, v.442, n.1, p.41-8, 2001.
- NOAKES, T.D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.20, n.4, p.319-330, 1988.
- _____. Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.96, n.4, p.1571-2, 2004. (Author reply 1572-3).
- _____. The central governor model of exercise regulation applied to the marathon. **Sports Medicine**, Auckland, v.37, n.4-5, p.374-7, 2007.
- NOAKES, T.D.; ST CLAIR GIBSON, A. Logical limitations to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.38, n.5, p.648-9, 2004.
- NOAKES, T.D.; ST CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, E.V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.39, n.2, p.120-4, 2005.
- PAAVOLAINEN, L.; NUMMELA, A.; RUSKO, H.; HAKKINEN, K. Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.20, n.8, p.516-21, 1999.
- PIRES, F.O.; LIMA-SILVA, A.E.; BERTUZZI, R.; CASARINI, D.H.; KISS, M.A.; LAMBERT, M.I.; NOAKES, T.D. The influence of peripheral afferent signals on the rating of perceived exertion and time to exhaustion during exercise at different intensities. **Psychophysiology**, Baltimore, v.48, n.9, p.1284-90, 2011.
- ST CLAIR GIBSON, A.; BADEN, D.A.; LAMBERT, M.I.; LAMBERT, E.V.; HARLEY, Y.X.; HAMPSON, D.; RUSSELL, V.A.; NOAKES, T.D. The conscious perception of the sensation of fatigue. **Sports Medicine**, Auckland, v.33, n.3, p.167-76, 2003.

- TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.43, n.6, p.392-400, 2009.
- TUCKER, R.; LAMBERT, M.I.; NOAKES, T.D. An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, Champaign, v.1, n.3, p.233-45, 2006.
- TUCKER, R.; MARLE, T.; LAMBERT, E.V.; NOAKES, T.D. The rate of heat storage mediates an anticipatory reduction in exercise intensity during cycling at a fixed rating of perceived exertion. **The Journal of Physiology**, London, v.574, n.Pt 3, p.905-15, 2006.
- TUCKER, R.; NOAKES, T.D. The physiological regulation of pacing strategy during exercise: a critical review. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.43, n.6, p.e1, 2009.
- ULMER, H.V. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. **Experientia**, Basel, v.52, n.5, p.416-20, 1996.
- WALSHE, A.D.; WILSON, G.J.; ETTEMA, G.J. Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.84, n.1, p.97-106, 1998.
- WESTERBLAD, H.; ALLEN, D.G. Cellular mechanisms of skeletal muscle fatigue. **Advances in Experimental and Medicine and Biology**, New York, v.538, p.563-70, 2003. (Discussion 571).

ENDEREÇO

Everton Crivoi do Carmo
Laboratório de Adaptação do Treinamento de Força
Escola de Educação Física e Esporte - USP
Av. Prof. Mello Moraes, 65
05508-030 - São Paulo - SP - BRASIL
e-mail: evertoncrivoi@usp.br

Recebido para publicação: 28/04/2012
Aceito: 02/05/2012